

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## Produção de Biodiesel a Partir de *Cyperus Esculentus* e Tratamento do Efluente Oriundo da Purificação<sup>1</sup>

Camilo Bastos Ribeiro<sup>2</sup> Erivelton Cesar Stroparo<sup>3</sup> Kely Viviane de Souza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2015

<sup>2</sup>Mestrando em Bioenergia na Universidade Estadual do Centro-Oeste, cb\_ambiental@hotmail.com

<sup>3</sup>Professores na Universidade Estadual do Centro-Oeste, stroparo.erivelton@gmail.com kelydesouza@gmail.com

### Resumo

Com o aumento do consumo de combustíveis fósseis e problemas ambientais associados a sua queima, busca-se formas alternativas de energia limpa e renovável. O biodiesel é obtido a partir de qualquer tipo de oleaginosa ou até mesmo de óleos já utilizados. Objetivou-se neste estudo produzir biodiesel a partir da planta *Cyperus esculentus* bem como propor um tratamento alternativo para a água oriunda da etapa de purificação. Após a produção e extração dos ácidos graxos realizou-se o processo de transesterificação em catálise básica via rota metálica. Foram analisados os parâmetros físico-químicos: massa específica, pH, condutividade e ponto de fulgor para o biodiesel, DQO (Demanda Química de Oxigênio) e turbidez para a água de lavagem. O tratamento adotado para a água foi o foto-Fenton em condições otimizadas. As propriedades físico-químicas para o biodiesel apresentaram-se dentro das normas da ANP. A água de lavagem apresentou DQO de 1.940,25 mg L<sup>-1</sup> antes do tratamento. Após o tratamento, obteve-se eficiência de redução de DQO de 92%. Os resultados revelaram que a erva daninha mostrou-se promissora para produção de biodiesel e

o processo de tratamento adotado possui elevado potencial de degradação dos resíduos gerados.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis, biomassa, foto-Fenton.

### **Biodiesel Production from *Cyperus Esculentus* and Treatment of the Wastewater from the Purification**

#### **Abstract**

With the increase of fossil fuel consumption and environmental problems associated to its burning process, alternative sources of clean and renewable energy have been researched. Biodiesel is obtained from any type of oleaginous plant or even from used oil. In this study, the objective was to produce biodiesel from the *Cyperus esculentus* plant, as well as to propose an alternative treatment for water from the purification process. After the production and extraction of fatty acids, the transesterification process was performed in a basic catalysis through methyl rout. The physical-chemical parameters were analyzed: specific mass, pH, conductivity and flash point for biodiesel, DQO and turbidity level for washing water. The treatment for the water was photo-Fenton in optimized conditions. The physical-chemical properties for biodiesel presented within the ANP parameters. The washing water presented DQO of 1.940,25 mg L<sup>-1</sup> before the treatment. After the treatment, a 92%-reduction of DQO was obtained. The results revealed that this weed showed potential for biodiesel production and its treatment process has elevated potential of waste degradation.

**Keywords:** Biofuel, biomass, photo-Fenton.

#### **Introdução**

Atualmente a sobrevivência da população no mundo leva ao desenvolvimento de diferentes formas de geração de energia, essenciais à sociedade moderna, associadas a questões socioeconômicas de conforto e mobilidade pessoal e que se reflete nas diferentes formas de crescimento comercial e industrial (Gallina, 2011).

Nesse contexto, a preocupação com a escassez das fontes de energia não renováveis, como o petróleo, e as questões ambientais associadas à queima destes combustíveis, tem contribuído para despertar na população o interesse de adotar novas fontes energéticas (Lôbo

et al., 2009). Essas preocupações têm levado pesquisadores a encontrar medidas alternativas de aproveitamento energético a partir de fontes renováveis, porém fazendo o uso de práticas de produção que reduzam os fatores impactantes ao meio ambiente.

Como alternativa, o biodiesel apresenta-se como um combustível renovável, não tóxico, o qual pode ser utilizado para substituição do diesel de petróleo em ciclos motores. Além disso, oferece uma alternativa interessante, por ser de origem vegetal, reduzindo de maneira significativa à presença de óxidos de enxofre (SOx), compostos orgânicos voláteis (COV's) e óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>) na atmosfera (Braga, 2012).

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais e até mesmo a partir de resíduos, como por exemplo, o óleo de cozinha. Dentre as fontes oleaginosas mais utilizadas, destacam-se a soja, pinhão manso, mamona, dendê, girassol e canola, por apresentarem bons rendimentos em termos de ácidos graxos bem como facilidade de cultivo e extração (Gallina, 2011).

Porém, as matérias-primas mencionadas na sua maioria competem com a cadeia alimentar. Entre as matérias-primas alternativas, pode-se citar a espécie *Cyperus esculentus* “tiririca”, uma erva daninha, com elevada concentração de óleo em seus tubérculos, podendo atingir até 28% em sua composição (Gallina, 2011). Deve-se ressaltar que esta espécie não apresenta tolerância aos diferentes tipos de solo e realizar até 2 ciclos anuais de cultivo (Ferrari et al., 2005). Para a separação dos ácidos graxos dos tubérculos geralmente emprega-se extração química por solvente orgânico, com posterior separação física (Ferrari et al., 2005).

Independente da matéria-prima geradora, o biodiesel é definido como uma mistura de alquil ésteres de ácidos graxos, comumente obtidos por reação de transesterificação (Knothe et al., 2006). Esta reação ocorre na presença de um catalisador (homogêneo ou heterogêneo) em meio alcoólico tendo como produto principal o biodiesel e como coproduto a glicerina (Sangaletti, 2012).

Porém, antes da sua utilização, o biodiesel necessita de um processo de purificação (lavagem), o qual consiste na adição de água ou soluções aquosas de ácidos fracos, com a finalidade de promover principalmente a neutralização e o arraste de diferentes compostos químicos residuais. De acordo com Veljković et al., (2014) o efluente resultante deste processo não pode ser descartado em qualquer corpo hídrico sem tratamento, pelo fato de

conter resíduos de sabões de sódio ou potássio, além dos ácidos graxos livres, glicerina, álcoois (metanol ou etanol) e impurezas orgânicas, sendo que o mesmo apresenta elevados valores de sólidos suspensos (SS), DQO, fato que lhe confere baixa biodegradabilidade.

Dentre os processos químicos de tratamento, os Processos Oxidativos Avançados (POA's) apresentam-se como promissores, por apresentarem baixo custo, e elevada eficiência de oxidação dos poluentes, podendo na maioria dos casos, promover estes à mineralização completa (Nogueira et al., 2007).

Os POA's são baseados na formação de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), os quais possuem elevada reatividade com a grande maioria dos compostos orgânicos (Nogueira et al., 2007). Dentre os vários tipos de POA's, destacam-se os processos Fenton e foto-Fenton. O processo Fenton se caracteriza pela reação entre o íon ferroso e o peróxido de hidrogênio para gerar o radical hidroxila (Nogueira et al., 2007). O processo pode ser melhorado pela incorporação de radiação (ultravioleta ou visível), o que caracteriza os processos foto-Fenton.

Diante das inúmeras vantagens em função da matéria-prima em estudo, facilidade no processo de geração do biodiesel e do problema ambiental ocasionado a partir do processo de lavagem do mesmo, o presente trabalho teve por objetivo produzir e caracterizar fisicoquimicamente o biodiesel proveniente da espécie *Cyperus esculentus*, bem como avaliar o potencial do processo oxidativo avançado do tipo foto-Fenton para o tratamento do efluente gerado no processo de purificação.

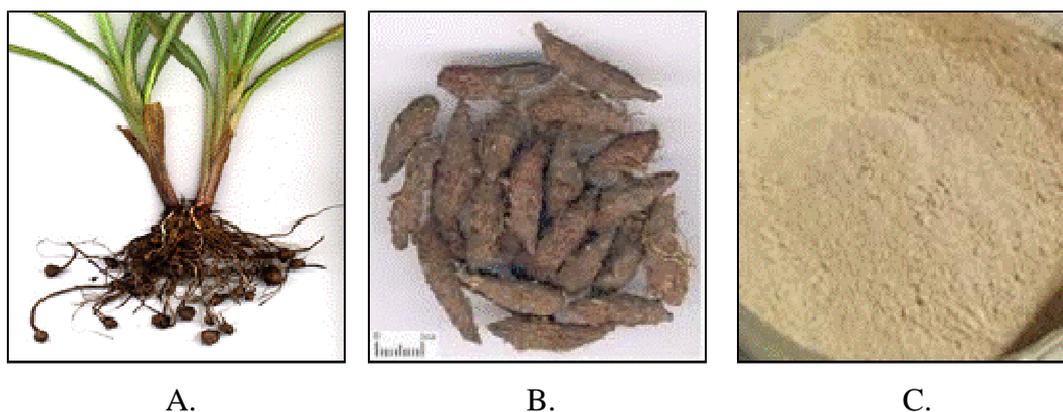
## **Materiais e métodos**

### *Cultivo e processamento da matéria-prima*

Para obtenção da matéria-prima, foi realizado o cultivo mediante o plantio de mudas da espécie *Cyperus esculentus*, em uma área pré-determinada localizado no *campus* da Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR. A área correspondeu à dimensão de 3 m<sup>2</sup>. O período de crescimento da planta foi de dezembro de 2013 a fevereiro de 2014. A colheita foi realizada de forma manual, obtendo-se os tubérculos brutos (Figura 1A) seguidamente da limpeza com água. Posteriormente foram encaminhados à estufa a temperatura de

aproximadamente 105 °C por 24 horas (Figura 1B). O material seco foi triturado em moinho com granulometria correspondente a 20 mesh (Figura 1C).

**Figura 1:** Matéria-prima: *Cyperus esculentus* após colheita (A); Tubérculos limpos e secos (B); Farinha (C).



#### *Extração do óleo*

A separação dos ácidos graxos dos tubérculos foi por meio de extração química utilizando-se hexano como solvente por sistema Soxhlet. Em função da quantidade de farinha obtida, foram realizados 12 ciclos de extração de 12 horas cada. Posteriormente, a mistura entre solvente e ácidos graxos proveniente do processo foi separada por destilação fracionada.

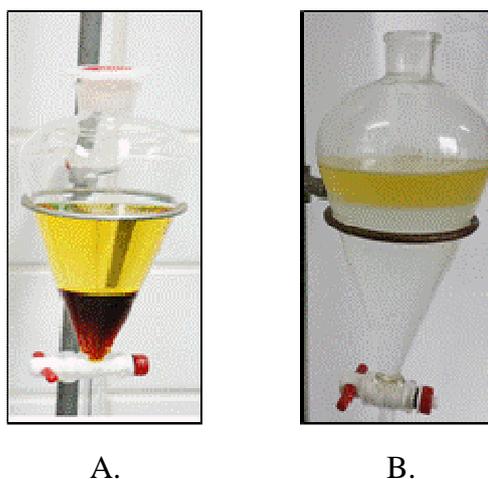
#### *Obtenção do biodiesel (B100) e geração da água de lavagem*

O processo de geração do biodiesel foi realizado em escala de bancada, para tanto, dissolveu-se em um béquer de 100 mL hidróxido de potássio de pureza analítica a uma razão de 3 % da quantidade de óleo em metanol, em uma razão correspondente a 35 %. A mistura foi aquecida a 50 °C, a qual transferiu-se para um béquer de 250 mL, contendo o óleo previamente aquecido a mesma temperatura. Manteve-se o sistema a temperatura de 45 a 55 °C sob agitação constante durante 1 hora.

Ao término da reação, transferiu-se a solução para um funil de decantação, a qual permaneceu por 48 horas. Posteriormente, realizou-se o processo de separação do biodiesel (fase superior) e do glicerol (fase inferior) vide Figura 2A.

Em um funil de decantação, o biodiesel foi lavado com água destilada em uma quantidade três vezes maior ao seu volume, o tempo de separação correspondeu a 24 horas (Figura 2B). A fase aquosa (água de lavagem) foi armazenada e encaminhada ao tratamento oxidativo. O biodiesel lavado foi submetido a análises físico-químicas.

**Figura 2:** Biodiesel e Glicerina (A); Biodiesel e água (B).



#### *Propriedades físico-químicas do biodiesel*

Foram realizadas análises físico-químicas para verificar eficiência da reação e qualidade do biodiesel formado frente às normas da Agência Nacional de Petróleo (ANP). Foram realizados ensaios espectroscópicos na região do ultravioleta e visível na faixa de comprimento de onda de 200 a 750 nm, utilizando o espectrofotômetro marca HACH modelo DR6000.

Ensaio referente à massa específica a 20 °C foram realizados da massa da amostra em balança digital da marca AND e modelo HR-120, e o volume da amostra em uma proveta.

O pH foi determinado com o auxílio de papel indicador universal, marca Merck. A coloração obtida é comparada com as colorações dos padrões da caixa. Para a medida de condutividade elétrica utilizou-se o aparelho modelo MCA 150.

As análises do ponto de fulgor foram estabelecidas utilizando um equipamento da marca PENSKEY-MARTEN, com termômetro acoplado de escala de 0 a 200 °C, o método segue norma ASTM D 92 (ANP, 2014).

#### *Tratamento da água de lavagem: processo foto-Fenton*

O processo foto-Fenton foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Oliveira et al., (2001). Utilizou-se como radiação uma lâmpada a vapor de mercúrio de 125 W acoplada a um reator fotoquímico de bancada (50 mL de capacidade) com agitação magnética. Foram coletadas amostras nos tempos de: 0, 30, 60 e 90 minutos de tratamento e encaminhadas para o controle analítico.

#### *Controle analítico: Peróxido de hidrogênio e Demanda Química de Oxigênio (DQO)*

Os níveis de peróxido de hidrogênio residual foram avaliados utilizando uma metodologia modificada a partir de procedimentos descritos por Oliveira et al., (2001). Neste procedimento, o peróxido de hidrogênio reage com metavanadato de amônio, o que leva a formação do cátion peroxovanádio que apresenta uma coloração laranja.

Para as análises da DQO, obteve-se uma curva analítica, com coeficiente de correlação correspondente a 99.98 %, a partir do preparo de padrões de biftalato de potássio de concentrações de 100 a 1000 ppm. A leitura após digestão foi realizada em 600 nm. Todos os ensaios realizaram-se em triplicata, tanto para os padrões quanto para as amostras do efluente. A metodologia segue método padrão de acordo com o *Standard Methods* (APHA, 1998).

## **Resultados e discussão**

#### *Geração e caracterização físico-química do biodiesel e da água de lavagem*

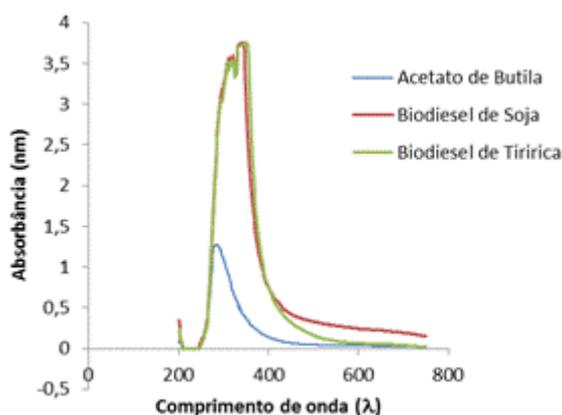
Após a colheita da erva daninha, obteve-se 450 g de tubérculos limpos, que corresponderam a 396 g de farinha. Com a metodologia de extração empregada neste trabalho, obteve-se 26 % de ácidos graxos. Matos et al., (2008) apresentou em seu estudo rendimentos inferiores ao presente trabalho (15,25 %). O rendimento foi satisfatório quando

comparado com outras oleaginosas, como por exemplo, a soja (15 a 22 %), canola (28 %) (Gallina, 2011).

Realizada a reação de transesterificação dos ácidos graxos obteve-se 12 mL de biodiesel, o qual passou pelo processo de purificação gerando 36 mL de efluente, ou seja, três vezes o volume do mesmo.

A fim de verificar a conversão real dos ácidos graxos em biodiesel, realizou-se uma análise de espectroscopia UV-Vis, para biodiesel da tiririca, biodiesel de soja e acetato de butila (éster), vide Figura 3.

**Figura 3:** Espectro UV-Vis de varredura para as amostras de biodiesel de tiririca e soja e acetato de butila.



Analisando o gráfico percebe-se que na região do visível (350 a 750 nm) ocorre uma pequena diferença entre as amostras de biodiesel, isso deve-se aos diferentes comprimentos de onda de máxima absorbância correspondente a cada biodiesel, onde o biodiesel de soja apresenta uma coloração amarela mais intensa. Observa-se que nesta região a banda do acetato de butila é reduzida devido presença de um éster puro que não apresenta coloração.

Observa-se ainda que comparando as amostras de biodiesel (soja e tiririca) com a curva do acetato de butila, ambos apresentaram picos na região de 300 nm, característica do grupo éster presente nas amostras. Devido a isso, pode-se afirmar que a conversão do óleo em biodiesel ocorreu como o esperado (Gallina, 2011).

Por fim, verifica-se que as curvas tanto do biodiesel de tiririca quanto de soja praticamente se equivalem, isto comprova que a matéria-prima alternativa adotada apresenta

características semelhantes à matéria-prima mais explorada para este tipo de aproveitamento energético.

Analisando-se a Tabela 1, verifica-se que todos os parâmetros físico-químicos analisados para o biodiesel obtido a partir da erva daninha estão dentro do estabelecido pela ANP, para o biodiesel B100.

**Tabela 1:** Propriedades físico-químicas do biodiesel e água de lavagem

Amostras/Propriedades Físico-Químicas	Limites ANP/CONAMA	Biodiesel (B100)	Água de Lavagem
Ponto de Fulgor (°C)	mín. 100 °C	104,5	-
Massa Específica (g cm <sup>-3</sup> )	0.800 à 0.900	0,851	-
Condutividade Elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	máx. 100	0,31	-
Potencial Hidrogeniônico	6,0 à 8,0	7,0	7,0
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	1.940,25
Turbidez (UNT)	máx. 100	-	103

Segundo o estudo realizado por Costa et al., (2000), o biodiesel produzido a partir do óleo de fritura apresenta resultados de massa específica 0,888 g cm<sup>-3</sup> e o resultado encontrado do mesmo parâmetro para o óleo diesel de petróleo corresponde a 0,849 g cm<sup>-3</sup>. Gallina (2011) analisou o biodiesel de tiririca obtendo valor de massa específica correspondente a 0,878 g cm<sup>-3</sup>, e de 105 °C ponto de fulgor. Pode-se, portanto, verificar que os resultados obtidos no presente estudo aproximam-se da literatura, implicando em excelente qualidade no biocombustível produzido.

Observa-se ainda (Tabela 1) que o efluente gerado na purificação apresentou turbidez muito próximo do limite máximo permitido pelo CONAMA e DQO bastante elevada (1.940,25 mg L<sup>-1</sup>). Estes valores de DQO demonstram a presença de uma grande carga orgânica, portanto, submeteu-se o efluente ao tratamento oxidativo avançado (foto-Fenton).

*Controle da degradação dos compostos presentes na água oriunda da purificação do biodiesel por meio do processo oxidativo avançado foto-Fenton*

Em geral, estima-se que os principais parâmetros que influenciam no processo foto-Fenton correspondem a:  $[Fe^{2+}]$  e  $[H_2O_2]$ , principalmente pela relação estequiométrica que estes apresentam na geração de radicais hidroxila. (Durigan et al., 2012).

Para determinar o efeito que cada variável possui no processo, e assim, determinar as melhores condições experimentais a serem utilizadas, foi realizado um planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central (em triplicata), tendo como resposta o percentual de redução da DQO no tempo de 30 minutos. O pH da amostra foi ajustado para 3,0 para evitar a precipitação de hidróxidos de ferro.

O processo de otimização foi realizado com água de lavagem de biodiesel de soja. A escolha deste substrato deve-se a sua grande utilização em escala industrial.

**Tabela 2:** Planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central para o processo foto-Fenton. Resposta: Redução DQO após 30 minutos.

Variáveis	Níveis (ppm)		
	-	0	+
$[Fe^{2+}]$	5	10	15
$[H_2O_2]$	100	150	200
Experimentos	$[Fe^{2+}]$	$[H_2O_2]$	Resposta (%)
1	-	-	30,2±2,3
2	+	-	34,0±0,8
3	-	+	32,4±1,3
4	+	+	40,5±2,0
5	0	0	31,0±0,6

De acordo com os resultados obtidos no planejamento, as melhores condições foram as correspondentes ao experimento 4: 15 ppm de  $Fe^{2+}$  e 200 ppm de  $H_2O_2$ . Uma vez estabelecidas às condições ideais de reação, foram realizados estudos de degradação da água da lavagem do biodiesel de tiritica.

Antes do tratamento foi determinado a DQO para a amostra gerada, sendo que este valor correspondeu a 1.940,25 mg L<sup>-1</sup>. Grangeiro et al., (2014) analisaram a DQO da água residual oriunda do biodiesel de óleo de soja e de fritura com valores correspondentes a 8.000 mg L<sup>-1</sup> e 8.450 mg L<sup>-1</sup>. Embora que em todos os resultados os valores sejam considerados muito altos, percebe-se que tratando-se do biodiesel de tiritica a DQO apresenta valores inferiores aos encontrados na literatura.

Estes resultados já eram esperados, uma vez que a água de lavagem apresenta grandes concentrações de compostos orgânicos, tais como, glicerina, óleos e graxas, metanol, sabões, hidróxidos, etc. O ideal seria realizar o teste de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) para avaliação da relação entre os parâmetros, onde pode ser verificado a real condição de biodegradabilidade da amostra. Porém os elevados valores de DQO podem caracterizar a presença de matéria orgânica não biodegradável (Braga, 2012), indicando a presença de compostos para os quais os microrganismos são incapazes de produzir enzimas que possam romper suas ligações químicas, permanecendo inalterados e há, portanto, a necessidade de utilização de oxidação química.

Nas condições otimizadas via planejamento fatorial  $2^2$ , obtiveram-se resultados demonstrados na Tabela 3. É importante ressaltar que o controle do peróxido reativo no processo foi monitorado a cada 10 minutos de reação, sendo que devido à alta taxa de consumo, foram necessárias adições sucessivas do oxidante ao meio reacional nos primeiros 6 intervalos de monitoramento.

**Tabela 3:** Redução de DQO em função do tempo de tratamento.

Ensaio/Tempo (min)	DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	% de Redução de DQO
0	1.940,25	0
30	246	$87,3 \pm 0,11$
60	139	$92,8 \pm 0,18$
90	146	$92,4 \pm 0,15$

Com o processo foto-Fenton, verifica-se que no tempo de 30 minutos ocorreu uma redução significativa da DQO (87 %), porém ainda não apresentando as concentrações dentro do esperado pelo processo.

Segundo Sperling (2014) os aspectos apresentados na legislação europeia que especifica a eficiência mínima de remoção e as concentrações dos parâmetros de importância para efluentes de estações de tratamento de efluentes urbanos, mostram que o parâmetro DQO é analisado, e os limites de eficiência de remoção corresponde a 75 %, assim como o padrão máximo de emissão corresponde a concentração de  $125 \text{ mg L}^{-1}$ , por meio destes conceitos pode-se considerar que no presente trabalho a eficiência de remoção correspondente é elevada, assim como a concentração de DQO se aproxima do padrão de emissão da legislação adotada pela comunidade europeia para efluentes urbanos.

Após 60 minutos de ensaio, observa-se que a DQO foi reduzida aproximadamente 92 %, a qual manteve-se praticamente constante no tempo de 90 minutos. Porém observa-se ainda, que ocorreu um pequeno acréscimo de DQO no tempo final da reação, porém pode-se dizer que este aumento provavelmente pode estar relacionado ao erro experimental. Os valores finais observados mostram que o processo foto-Fenton pode ser indicado para o tratamento deste tipo de efluente, devido ao grande potencial reativo para com os compostos orgânicos não biodegradáveis, os quais constituem a água proveniente da etapa de lavagem.

### **Conclusões**

É possível produzir biodiesel a partir da espécie *Cyperus esculentus*, com facilidade de cultivo e elevado potencial energético para produção em função da área cultivada.

As propriedades físico-químicas analisadas encontraram-se dentro das especificações exigidas pela ANP para o biodiesel.

O processo foto-Fenton mostrou-se bastante eficiente, apresentando uma redução de até 92% da concentração de DQO em 60 minutos de tratamento.

Com a evidência da integralização das problemáticas do uso irracional de combustíveis não renováveis, conclui-se que é possível buscar e propor alternativas para o uso de matérias-primas renováveis, assim como a redução dos impactos causados por meio da utilização destes, visando o aproveitamento energético.

### **Referências**

ANP - **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. 16 Nov. 2014.

APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 1998, 1162p.

BRAGA, E. **Caracterização das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação da produção de biodiesel do óleo de tilápia**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2012, 129p. Tese Doutorado.

COSTA, R. P.; ROSSI, S. F. L.; ZAGONEL, F. G.; RAMOS, P. L. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação do óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v.23, 2000.

DURIGAN, M. A. B.; VAZ, S. R.; ZAMORA, P. P. Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, v.35, p.1381-1387, 2012.

FERRARI, A. R.; OLIVEIRA, V. S.; SEABIO, A. Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v.28, p. 19-23, 2005.

GALLINA, A. L. **Uma alternativa sustentável para a produção de biodiesel: *Cyperus esculentus***. Guarapuava: Universidade Estadual do Centro Oeste, 2011. 119p. Dissertação Mestrado.

GRANGEIRO, R. **Caracterização da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2009. 53p. Dissertação Mestrado.

KNOTHE, G.; GERPEN, V. J.; KRAHL, J.; RAMOS, P. L. **Manual do biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 352 p.

LÔBO, P. I.; FERREIRA, C. L. S.; CRUZ, S. R. Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v.32, p.1596-1608, 2009.

MATOS, F. J. A.; CAVALCANTI, F. S.; PARENTE, J. P. Estudo agrônomico qualitativo e quantitativo de *Cyperus esculentus* L. (junça): Uma fonte inexplorada de alimento energético. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.124-129. 2008.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R. A.; VILLA, R. D. Fundamentos e Aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, v.30, p.400-408, 2007.

OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F. P.; NETO, J. A. G. Sistema de injeção em fluxo espectrofotométrico para monitorar peróxido de hidrogênio em processo de fotodegradação por reação foto-Fenton. **Química Nova**, v.24, p.188-190, 2001.

SANGALETTI, N. **Transesterificação química e enzimática de miscela etanólica de óleo de soja**. Piracicaba: ESALQ/USP, São Paulo, 2012. 153p. Tese Doutorado.

SPERLING, V. M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 588p.

VELJKOVIĆ, V. B.; STAMENKOVIC, O. S. TASIC, M. B. The wastewater treatment in the biodiesel production with alkali-catalyzed transesterification. **Renewable and sustainable energy reviews**, v.32, p. 40-60, 2014.